



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 25 112 C 1

⑤① Int. Cl.⁵:
A 61 B 19/00
A 61 B 1/00
A 61 B 6/02
A 61 M 25/01
A 61 B 5/06
G 06 F 15/66

⑳ Aktenzeichen: P 42 25 112.5-35
㉔ Anmeldetag: 30. 7. 92
㉕ Offenlegungstag: —
㉖ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 9. 12. 93

DE 42 25 112 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:

Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 88662
Überlingen, DE

㉘ Vertreter:

Weisse, J., Dipl.-Phys.; Wolgast, R., Dipl.-Chem. Dr.,
Pat.-Anwälte, 42555 Velbert

㉙ Erfinder:

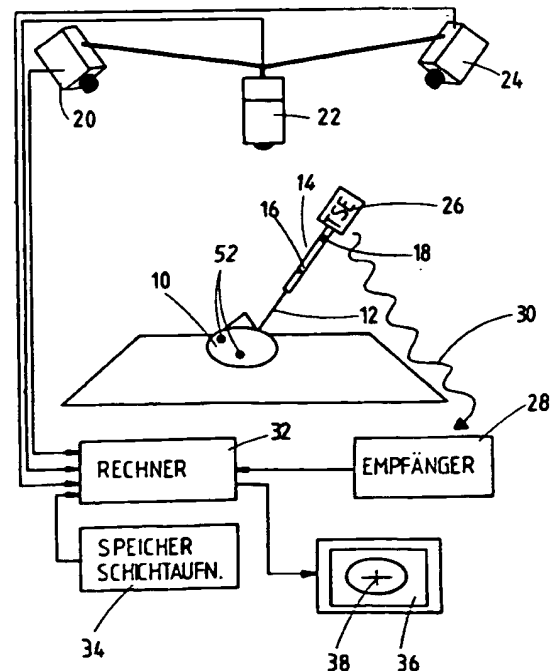
Stelte, Norbert, Dipl.-Phys. Dr., 7770 Überlingen, DE;
Seidl, Max, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 7997 Immenstaad,
DE; Raab, Michael, Dipl.-Phys. Dr., 7777 Salem, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 37 17 871 C2
DE 31 14 918 A1

⑤④ Einrichtung zum Messen der Position eines Instruments relativ zu einem Behandlungsobjekt

⑤⑦ Zur Bestimmung der Lage und Orientierung eines Instruments (12) relativ zu einem Behandlungsobjekt (10) ist ein Speicher (34) zur Speicherung von Schichtbildern des Behandlungsobjektes (10) in einem ersten, schichtbildfesten Koordinatensystem sowie eine Einrichtung (16, 18, 20, 22, 24, 26) zum Bestimmen der Lage des Instruments (12) in einem zweiten Koordinatensystem vorgesehen. Es wird die Lage von in dem ersten Koordinatensystem vorgegebenen Meßpunkten (52) des Behandlungsobjektes (10) in dem zweiten Koordinatensystem bestimmt. Es erfolgt dann eine Koordinatentransformation zur Transformation der Informationen aus einem der besagten Koordinatensysteme in das andere. Die Schichtbilder des Instruments (12) werden in dem besagten anderen Koordinatensystem dargestellt. Dabei ist zum Bestimmen der Lage des Instruments (12) eine Trägersensoreinheit (26) vorgesehen.



DE 42 25 112 C 1

Die Erfindung geht aus von einer Einrichtung zum Messen der Position eines Instruments relativ zu einem Behandlungsobjekt, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Eine solche Einrichtung ist bekannt durch die DE 37 17 871 C2. Diese Druckschrift beschreibt ein Verfahren zur optischen Darstellung der Lage eines chirurgischen Instruments bei einem chirurgischen Eingriff. In einem Speicher eines Datenverarbeitungssystems werden Schichtbilder eines Körperteils abgelegt. Dabei sind bei der Herstellung der Schichtbilder an dem Körperteil Meßpunkte markiert oder festgelegt, die in den Schichtbildern erscheinen. Die Koordinaten dieser Meßpunkte in den Schichtbildern werden ermittelt. Bei dem chirurgischen Eingriff werden solche Schichtbilder auf einem Bildschirm dargestellt. Während des Eingriffs wird mittels einer Abtasteinrichtung die Lage und Orientierung des Instruments in einem durch die Abtasteinrichtung bestimmten Koordinatensystem bestimmt. Dementsprechend wird eine die Lage und Orientierung des Instruments wiedergebendes Bild ebenfalls auf dem Bildschirm dargestellt und der jeweiligen Schichtaufnahme überlagert.

Die Darstellung der Schichtbilder auf dem Bildschirm ist auf ein erstes "Schichtbilder"-Koordinatensystem bezogen. Die Abtasteinrichtung liefert die Lage und Orientierung des Instruments in dem durch die Abtastvorrichtung bestimmten zweiten Koordinatensystem. Die Beziehung zwischen den beiden Koordinatensystemen ist zunächst unbekannt. Diese Beziehung wird ermittelt, indem nacheinander die Meßpunkte an dem zu behandelnden Körperteil angefahren und deren Koordinaten in dem zweiten "Abtastvorrichtung"-Koordinatensystem bestimmt werden. Es kann dann eine Koordinatentransformation aus dem ersten in das zweite Koordinatensystem erfolgen, derart, daß die Meßpunkte auf dem Bildschirm in den durch das Anfahren bestimmten Punkten liegen und mit dem Bild des Instruments oder der Instrumentenspitze zur Deckung kommen.

Der Operateur kann dann während der Operation laufend die Lage und Orientierung seines Instruments in dem Körperteil verfolgen. Das geschieht anhand von Schichtbildern, die vor dem Eingriff gemacht worden sind. Es kann dafür gesorgt werden, daß stets jeweils die Schichtaufnahme auf dem Bildschirm dargestellt wird, die den Ort der Instrumentenspitze enthält.

Bei der DE 37 17 871 C2 ist die Abtastvorrichtung zum Messen der Koordinaten des Instruments eine Art passiver Roboterarm, an dem das Instrument sitzt, wobei die Lage des Instruments aus den Winkeln an den verschiedenen Gelenken des Roboterarmes bestimmt wird. Es wird in der DE 37 17 871 C2 aber auch auf die Möglichkeit hingewiesen, eine berührungslose Abtastvorrichtung mit drei räumlich angeordneten Sonden vorzusehen.

Eine mechanische Abtastvorrichtung zur Bestimmung der Lage (Koordinaten) und der Orientierung des Instruments behindert die Handhabung des Instruments. Der Benutzer hält nicht nur das Instrument, sondern muß auch den "Roboterarm" der mechanischen Abtastvorrichtung tragen. Der dabei wirksame Gewichtsanteil des Roboterarmes hängt von der jeweiligen Lage des Instruments ab. Eine berührungslose Abtastung des Instruments z. B. mit drei Videokameras birgt das Risiko in sich, daß durch Abdeckung eines oder mehrerer Sonden während des chirurgischen Eingriffs

die Lage- und Orientierungsinformation vorübergehend verlorengeht. Eine solche Situation kann schwerwiegende Folgen haben.

Die DE 31 14 918 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur quantitativen Lagebestimmung eines Körpers im Raum. An dem Körper sind Markierungspunkte angebracht. Die Markierungspunkte werden von einer Videokamera erfaßt. Aus den Videobildern werden mittels eines Rechners Translation und Rotation des Körpers in einem raumfesten Koordinatensystem bestimmt. Die ermittelten Koordinaten werden mit abgespeicherten Werten verglichen. Der Körper wird in seine Soll-Lage zurückgeführt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer Einrichtung der eingangs genannten Art einerseits eine freie Handhabung des Instruments zu ermöglichen und andererseits die ständige Verfügbarkeit der Lageinformation zu gewährleisten.

Diese Aufgabe wird mit der Einrichtung nach dem Patentanspruch 1 gelöst, d. h. durch den Einsatz einer Trägheitssensoreinheit.

Trägheitssensoreinheiten lassen sich insbesondere unter Anwendung der Mikrosystemtechnik kompakt und leicht herstellen. Sie liefern die Lage eines Instruments, ohne daß durch Abdecken einer Sonde ein Signalverlust eintreten kann. Eine mechanische Abtasteinrichtung kann entfallen.

Die Unteransprüche sind auf Ausführungsformen der Einrichtung nach dem Anspruch 1 gerichtet.

Die Trägheitssensoreinheit kann Sensordaten nach Maßgabe von Lage und Orientierung des Instruments liefern. Vorteilhaft ist es, wenn die Trägheitssensoreinheit redundante Sensordaten liefert. Weiterhin können Mittel zur Interpolation zwischen den redundanten Sensordaten der Trägheitssensoreinheit zur Erzeugung interpolierter Sensordaten vorgesehen sein. Auf diese Weise wird die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der inertialen Bestimmung von Lage und Orientierung des Instruments verbessert.

An dem Instrument kann ein Sender zur drahtlosen Übertragung der Sensordaten auf einen mit Signalverarbeitungsmitteln verbundenen Empfänger vorgesehen sein. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit ist es zweckmäßig, wenn an dem Instrument mehr als ein Sender vorgesehen ist und die Sender mit je einem oder mehreren Empfängern zusammenwirken. Weiterhin können die Sender und Empfänger mit unterschiedlichen physikalischen Trägern arbeiten, beispielsweise mit Infrarot und Radiofrequenzen. Die Trägheitssensoreinheit kann von einer in die Trägheitssensoreinheit eingebauten Batterie gespeist werden.

Es ergibt sich so ein Instrument, dessen Lage und Orientierung berührungslos gemessen und auf die Signalauswertung für die Anzeige des Instruments auf dem Bildschirm übertragen wird.

Zusätzlich kann eine berührungslose, optische Abtasteinrichtung zur Bestimmung der Lage und Orientierung des Instruments vorgesehen sein. Dabei kann die Trägheitssensoreinheit von der optischen Abtasteinrichtung gestützt sein. Trägheitssensoreinheit und optische Abtasteinrichtung ergänzen sich dabei vorteilhaft: Die optische Abtasteinrichtung stützt die inertiale Messung der Lage und Orientierung des Instruments. Es kann insbesondere auch die Drift der inertialen Sensoren bestimmt und bei der Berechnung der Lage und Orientierung aus den Sensorsignalen berücksichtigt werden. Andererseits liefert die Trägheitssensoreinheit Signale auch dann, wenn die Sensoren der optischen

Abtasteinrichtung vorübergehend abgedeckt sind.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 ist eine schematisch-perspektivische Darstellung einer Einrichtung zur Bestimmung der Lage eines Instruments relativ zu einem Behandlungsobjekt, das hier als Kopf eines Patienten schematisch angedeutet ist.

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm der Trägheitssensoreinheit.

In Fig. 1 ist mit 10 ein Behandlungsobjekt bezeichnet. Das "Behandlungsobjekt" ist hier als Kopf eines Patienten angedeutet, an dem ein chirurgischer Eingriff vorgenommen werden soll. Solche medizinischen Anwendungen dürften die häufigsten Anwendungsfälle der vorliegenden Einrichtung sein. Behandlungsobjekt kann aber auch ein Werkstück od. dgl. sein, das in bestimmter Weise an nicht einsehbaren Stellen bearbeitet werden soll. Die Behandlung erfolgt mittels eines Instruments 12. Das Instrument 12 hat einen Schaft 14. An dem Schaft 14 sitzen zwei oder mehr infrarotemittierende Leuchtdioden 16 und 18. Die Leuchtdioden werden mit unterschiedlichen Zeittakten angesteuert und leuchten dementsprechend mit unterschiedlichen Zeittakten auf. Die Leuchtdioden 16 und 18 werden von drei bilderfassenden Sensoren 20, 22 und 24 beobachtet. Die bilderfassenden Sensoren 20, 22 und 24 können Bilder nach Art einer Videokamera erzeugen. Aus den durch die unterschiedlichen Zeittakte unterscheidbaren Bildern der Leuchtdioden 16 und 18, wie sie von den drei Sensoren 20, 22 und 24 gesehen werden, können Lage und Orientierung des Instruments 12 in einem durch die Sensoren 20, 22 und 24 bestimmten Koordinatensystem bestimmt werden.

An dem Instrument 12 sitzt außerdem eine Trägheitssensoreinheit 26. Die Trägheitssensoreinheit 26 enthält Winkelgeschwindigkeits-Sensoren und Beschleunigungsmesser. Die Winkelgeschwindigkeits-Sensoren und Beschleunigungsmesser liefern Sensordaten, aus denen durch Integration in üblicher Weise die Lage und die Orientierung der Trägheitssensoreinheit und damit des Instruments berechnet werden können. Die Sensordaten werden durch einen Sender, der in der Trägheitssensoreinheit 26 vorgesehen ist, auf einen stationären Empfänger 28 übertragen. Das ist in Fig. 1 durch die Welle 30 angedeutet. Der Empfänger 28 ist mit einem Rechner 32 verbunden. Auf den Rechner 32 sind weiterhin die bilderfassenden Sensoren 20, 22 und 24 sowie ein Speicher 34 aufgeschaltet. In dem Speicher 34 sind die vor dem chirurgischen Eingriff durch Computertomographie oder Kernspintomographie hergestellten Schichtbilder gespeichert. Der Rechner 32 liefert auf einem Bildschirm 36, wie in Fig. 1 angedeutet, ein Bild mit der Schichtaufnahme der Schicht des Behandlungsobjektes 10, in deren Bereich sich die Spitze des Instruments 12 befindet. Diese Spitze ist in dem Bild durch ein Fadenkreuz 38 dargestellt.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, enthält die Trägheitssensoreinheit 26 zwei Gruppen von im wesentlichen übereinstimmenden Sensoren 40 und 42. Eine Schaltung 44 bewirkt eine Interpolation zwischen den Sensordaten, die von den beiden Gruppen geliefert werden. Aus den zwei Sätzen von Sensordaten können Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit der Sensordaten gezogen werden. Außerdem wird die Genauigkeit der am Ausgang erhaltenen, interpolierten Sensordaten verbessert. Die interpolierten Sensordaten sind auf einen mit infraroter

Strahlung arbeitenden Sender 46 und einen mit Radiofrequenz arbeitenden Sender 48 geschaltet. Der Empfänger 28 enthält einen Empfängerteil, der auf die infrarote Strahlung anspricht, und einen Empfängerteil, der auf die Radiofrequenz anspricht.

Die Trägheitssensoreinheit 26 ist von einer eingebauten Batterie 50 gespeist.

An dem Behandlungsobjekt sind vier Marken 52 angebracht, die auf den Schichtbildern erscheinen. Am Ort dieser Marken sind bei der Behandlung, also während des chirurgischen Eingriffs, Leuchtdioden angebracht. Diese Leuchtdioden werden von den bilderfassenden Sensoren 20, 22 und 24 ebenfalls erfaßt und liefern so den Ort der Marken 52 in dem zweiten "Abtasteinrichtung"-Koordinatensystem.

Die beschriebene Einrichtung arbeitet wie folgt:

Vor dem chirurgischen Eingriff wird ein Computertomogramm oder ein Kernspintomogramm des zu behandelnden Körperteils, z. B. des Kopfes des Patienten erstellt. Dabei werden an dem Körperteil vier Marken angebracht, die auch auf dem erhaltenen Schichtbildern sichtbar sind. Der Ort dieser Marken in einem schichtbildfesten ersten Koordinatensystem wird bestimmt, indem die Schichtbilder auf dem Bildschirm dargestellt und die darin erscheinenden Bilder der Marken mit einer "Maus" angefahren werden.

Bei dem chirurgischen Eingriff, der "Behandlung", werden die am Ort der Marken 52 angebrachten Leuchtdioden durch die Sensoren 20, 22 und 24 erfaßt. Damit werden die Koordinaten der Marken 52 in dem zweiten Koordinatensystem ermittelt. Aus den vorher ermittelten Koordinaten der Marken 52 im schichtbildfesten ersten Koordinatensystem und den durch die Sensoren 20, 22 und 24 ermittelten Koordinaten der Marken im zweiten Koordinatensystem können die Transformationsparameter für die Koordinatentransformation aus einem Koordinatensystem in das andere bestimmt werden.

Die Ermittlung der Koordinaten im zweiten Koordinatensystem aus den Sensordaten der Sensoren 20, 22 und 24 und die Bestimmung der Transformationsparameter für die Koordinatentransformation erfolgt in dem Rechner 32. Auf den Rechner 32 sind die Sensordaten von den Sensoren 20, 22 und 24 aufgeschaltet.

Der Rechner 32 bestimmt auch aus der Lage der Leuchtdioden 16 und 18 die Lage und Orientierung des Instruments 12 in dem zweiten "Abtasteinrichtung"-Koordinatensystem. Mittels der Koordinatentransformation werden diese Lage und Orientierung in das schichtbildfeste, erste Koordinatensystem transformiert und in der Darstellung auf dem Bildschirm in die jeweiligen Schichtbilder eingeblendet.

Bei der Handhabung des Instruments können die Leuchtdioden vorübergehend abgedeckt werden, so daß sie von den Sensoren 20, 22 und 24 nicht erfaßt werden, oder nicht alle Sensoren 20, 22 und 24 die Leuchtdioden erfassen. Aus diesem Grunde ist eine zweite Lage- und Orientierungs-Meßeinheit in Form der Trägheitssensoreinheit 26 vorgesehen. Die Trägheitssensoreinheit 26 liefert über die Sender 46 und 48 und den Empfänger 28 weitere Sätze von Lage- und Orientierungsdaten, die in gleicher Weise wie die Sensordaten von den Sensoren 20, 22 und 24 die Lage und Orientierung des Instruments in dem zweiten Koordinatensystem angeben und zur Darstellung des Instruments 12 auf dem Bildschirm 36 dienen können. Die Lage- und Orientierungsdaten von der Trägheitssensoreinheit werden normalerweise laufend gestützt von den aus den

Sensordaten der Sensoren 20, 22 und 24 gewonnenen Lage- und Orientierungsdaten. Insbesondere wird auch die Drift der Trägheitssensoren bestimmt und bei der Berechnung der Koordinaten berücksichtigt.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Messen der Position eines Instruments (12) relativ zu einem Behandlungsobjekt (10), umfassend
 - (a) einen Rechner (32) mit einem Speicher (34) zur Speicherung von Schichtbildern des Behandlungsobjektes (10) in einem ersten, schichtbildfesten Koordinatensystem,
 - (b) eine Meßvorrichtung (16, 18, 20, 22, 24, 26) zum Messen der Position des Instruments (12) in einem zweiten Koordinatensystem,
 - (c) eine Meßvorrichtung (20, 22, 24) zum Messen der Position von in dem ersten Koordinatensystem vorgegebenen Meßpunkten (52) des Behandlungsobjektes (10) in dem zweiten Koordinatensystem,
 - (d) den Rechner (32) mit einem Koordinatentransformationsprogramm zur Transformation der Positionsdaten aus einem der Koordinatensysteme in das andere,
 - (e) einen Bildschirm (36) zur Darstellung der Schichtbilder und des Instruments (12) in dem anderen Koordinatensystem,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 - (f) die Meßvorrichtung zum Messen der Position des Instruments (12) eine Trägheitssensoreinheit (26) enthält.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägheitssensoreinheit (26) Sensordaten über die Lage und die Orientierung des Instruments (12) liefert.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägheitssensoreinheit (26) redundante Sensordaten liefert.
4. Einrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch den Rechner (32) mit einem Programm (44) zur Interpolation zwischen den Sensordaten der Trägheitssensoreinheit (26) zur Erzeugung interpolierter Sensordaten.
5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Instrument (12) ein Sender (46, 48) zur drahtlosen Übertragung der Sensordaten auf einen mit dem Rechner (32) verbundenen Empfänger (28) vorgesehen sind.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Instrument (12) mehr als ein Sender (46, 48) vorgesehen ist und die Sender (46, 48) mit je einem oder mehreren Empfängern zusammenwirken.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Sender (46, 48) und Empfänger mit unterschiedlichen physikalischen Trägern arbeiten.
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägheitssensoreinheit (26) von einer in die Trägheitssensoreinheit (26) eingebauten Batterie energetisch versorgt wird.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine berührungslose, optische Abtasteinrichtung (16, 18, 20, 22, 24) zum Messen der Lage und der Orien-

tierung des Instruments (12) vorgesehen ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägheitssensoreinheit (26) von der optischen Abtasteinrichtung (16, 18, 20, 22, 24) gestützt ist.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung (20, 22, 24) zum Messen der Position der vorgegebenen Meßpunkte (52) des Behandlungsobjektes (10) in dem zweiten Koordinatensystem von Leuchtdioden gebildet sind, die in den Meßpunkten an dem Behandlungsobjekt (10) angebracht sind, und von einer auf diese Leuchtdioden ansprechenden optischen Abtasteinrichtung (20, 22, 24).

12. Einrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtdioden zur Unterscheidung voneinander mit unterschiedlichen Zeittakten ansteuerbar sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

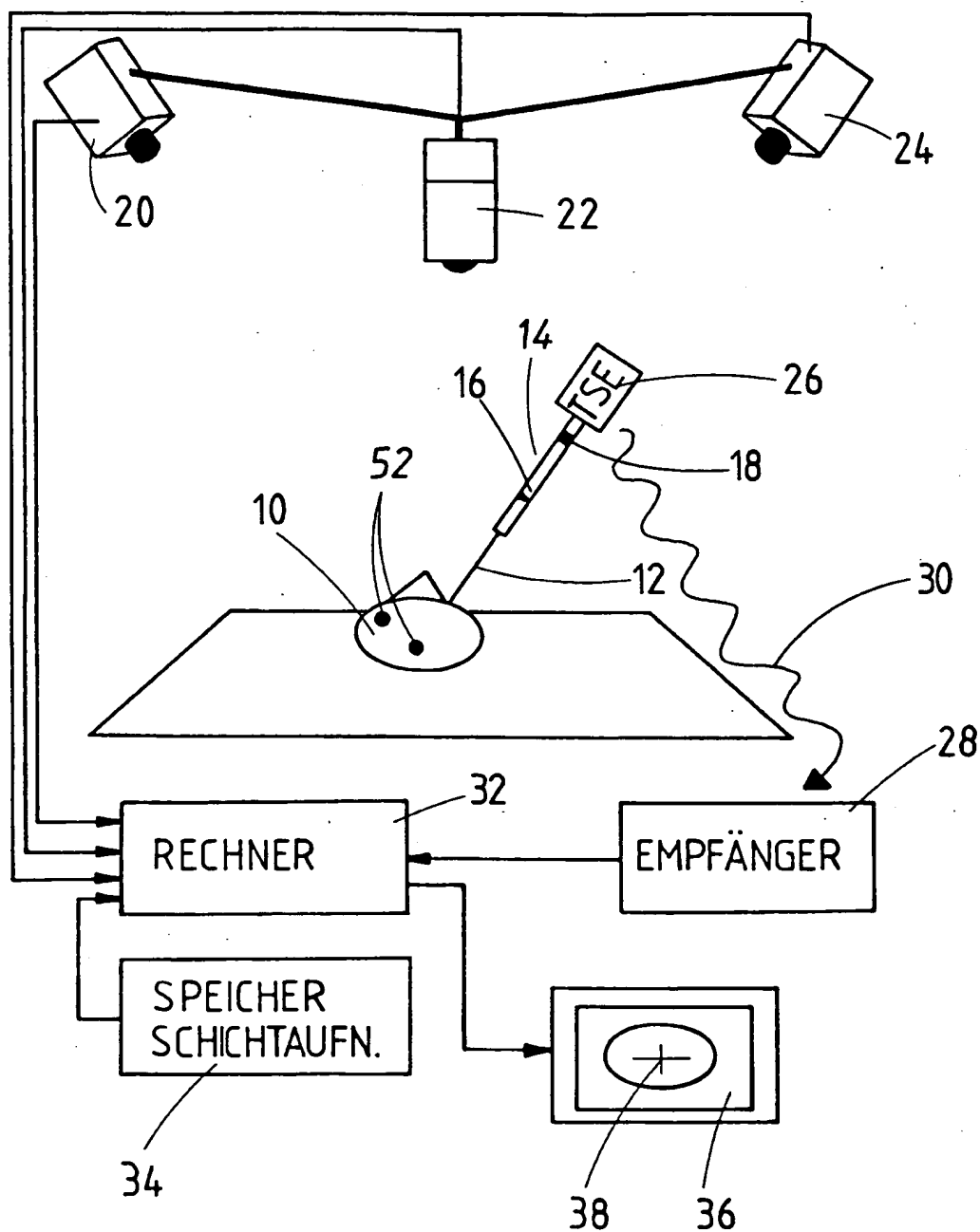


Fig.1

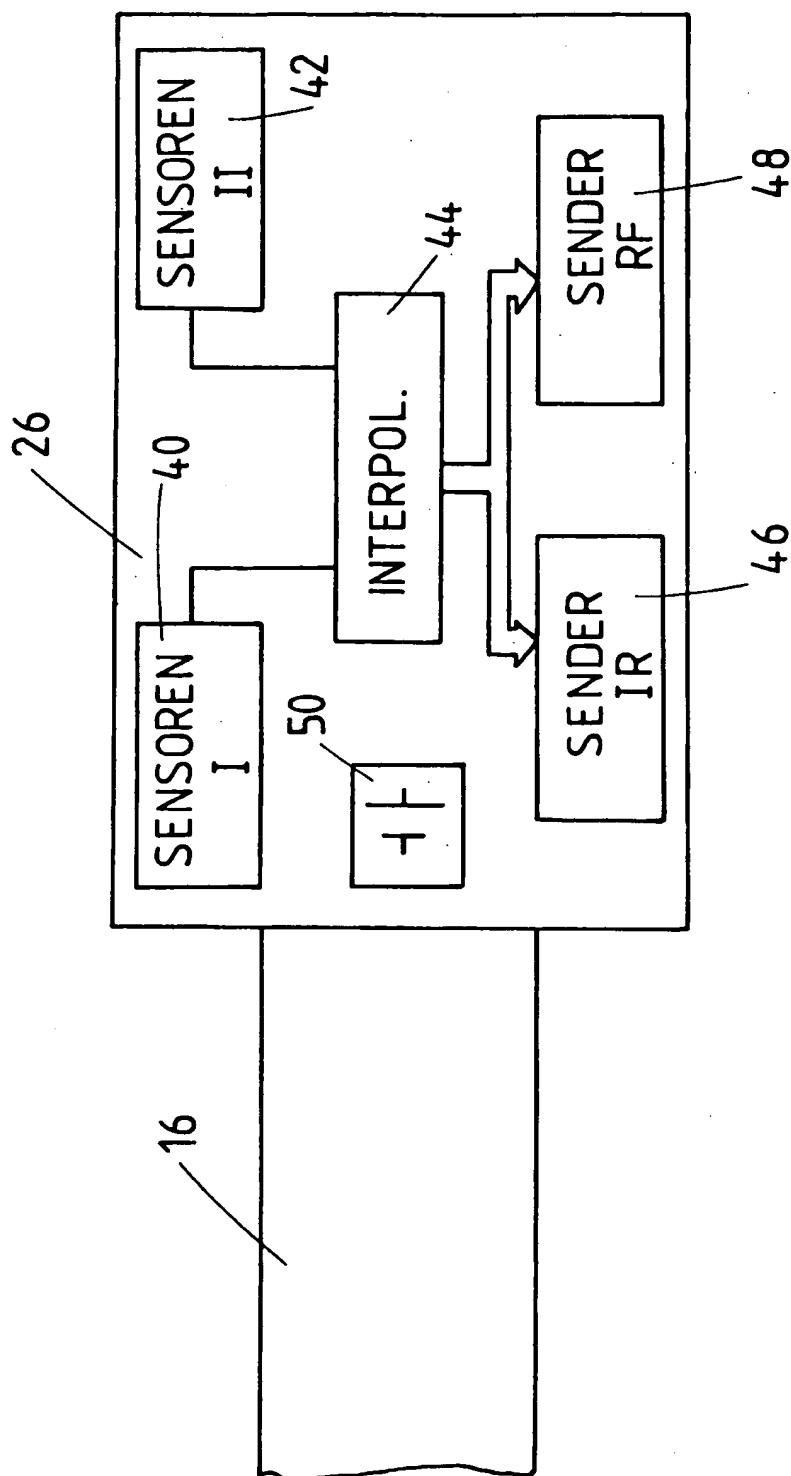


Fig. 2